

TeemuKuivakangas

Palvelurobotin kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinöörityö

20.5.2016

Tekijä Otsikko	Teemu Kuivakangas Palvelurobotin kehittäminen
Sivumäärä Aika	32 sivua + 3 liitettä 20.5.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja	lehtori Tuominen Timo
<p>Projektissa selvitettiin, onko mahdollista valmistaa lyhyessä ajassa toimiva palvelurobotti, josta saataisiin hyötyä palvelualalle ja mahdollistettaisiin tällä uusia bisnesmahdollisuuksia. Palvelurobotin tilaaja haki myös rahoitusta valmiilla tuotteella uusiin tuotekehityshankkeisiin. Projektin toteutettiin kuuden hengen ryhmässä.</p> <p>Työssä käytettiin hyödyksi uusia Beckhoffin valmistamia laitteita sekä yrityksen kehittämiä sovelluksia. Työssä käytettiin myös erilaisia rajapintoja tiedonsiirrossa ohjelmien välillä. Työssä jouduttiin käyttämään myös 3D-suunnittelua. Palvelurobotin rungon teettämiseen käytettiin apuna Lazerle Oy-yritystä.</p> <p>Palvelurobottien käyttö on tulevaisuutta ja sen suurimmat kehittämismahdollisuudet ovat tällä hetkellä ikääntyvien ihmisten palvelualalle. Avustavien laitteiden hyödyntäminen ja viihdekäyttö tuovat palvelurobotiikalle nykypäivänä kasvun mahdollisuuksia.</p> <p>Palvelurobotti ei kerinnyt tulla valmiiksi 24.-30.11.2014 järjestettyyn Helsingin robottiviikolle. Työ kuitenkin saatiin valmiiksi koululla järjestettyyn mobiilirobottipäivälle, jossa eri kouluja ja koulutus päättäjiä oli työtä katsomassa.</p>	
Avainsanat	palvelurobotti, Beckhoff, Visual Studio

Author Title	Teemu Kuivakangas Development of Service Robot
Number of Pages Date	32 pages + 2 appendices 20 May 2010
Degree	Bachelor of Engineering (AMK)
Degree Program	Automation Engineer
Specialisation option	
Instructor	Timo Tuominen, Senior Lecturer
<p>The final year project examined whether it is possible to produce a functional service robot in a short period of time, which would benefit the service sector and provide new business opportunities. The service robot subscriber also applied for funding with the finished product for new product development projects. The project was implemented in a team of six.</p> <p>The project was done with the new equipment manufactured by Beckhoff, as well as applications made by the company. A variety of interfaces for data transfer between the programs was also used in the project. Also 3D-design had to be utilized. In designing the service robot's body, Laserle Ltd was used for assistance.</p> <p>The use of service robots is the future and the greatest potential for development is currently in the service sector for the elderly. Utilizing the supporting equipment and entertainment usage bring growth possibilities in the present day.</p> <p>The service robot not completed by the Helsinki robot week between 24 to 30 November 2014. However, the project was completed for the mobile robot day of Metropolia, where different institutes and educational decision-makers could examine the result.</p>	
Keywords	service robot, Beckhoff, Visual Studio

Sisällys

Lyhenteet	6
1 Johdanto	1
1.1 Työn tausta	1
1.2 Työn tavoitteet ja toteutus	1
2 Laitteisto	2
2.1 Beckhoff CX2020 CPU	2
2.2 Beckhoff EL7211-0010EtherCAT -terminaali	2
2.3 Beckhoff EL2004–digitaalinen lähtökortti	3
2.4 Beckhoff EL9576–EtherCAT terminaali	3
2.5 Servomoottorit ja vaihde	3
2.5.1 Beckhoff AM8113 servomoottori	3
2.5.2 Beckhoff AG2250-+PLE40-M02-20-planeettavaihde	3
2.6 Muut laitteet	4
2.6.1 Akut	4
2.6.2 Logitech Extreme 3D Pro Joystick	5
2.6.3 Kamera	5
2.6.4 Tabletti	5
2.6.5 Tietokone	5
2.6.6 Wi-Fi-reitin	6
2.6.7 Langaton reitin	6
2.6.8 Moottori kaapelit	7
2.6.9 Renkaat	7
3 Ohjelmat	8
3.1 Beckhoff TwinCat 3	8
3.1.1 eXtended Automation Runtime (XAR)	9
3.1.2 eXtended Automation Engineering (XAE)	10
3.2 Autodesk Inventor Professional 2015	12
3.3 Visual Studio 2013 ja WPF-työkalu	12
4 Ohjelma	12
4.1 Liike	13
4.2 Liitynnät ja rajapinnat	13

5	Käyttöliittymä	13
5.1	Käyttöliittymän toteutus	13
5.2	Käyttöliittymän käyttö	15
6	3D-mallintaminen, muotoilu ja levyjen työstö	17
6.1	3D-mallin suunnittelu	18
6.2	Levyt	18
7	Asennus ja johdotus	19
	Moottorien kytkentä	19
8	Robotin käyttö tulevaisuudessa ja ideointi	21
9	Tavoitteidenyhteenveto	22
	Lähteet	23
	Liitteet	
	Liite 1. Robotin välikerros	
	Liite 2. Robotin moottorin kiinnikelevy	
	Liite 3. Padin kiinniketanko	

Lyhenteet

OPC UA	Open Process Control Unified Architecture, OPC UA on OPC –säätöön kehittämä teollinen M2M-tiedonsiirtoprotokolla.
WPF	Windows Presentation Foundation, WPF on .NET framework 3.0 esiteltykirjasto, jokamuodostaa Windows-versioidengraafisetrajapinnat.
CPU	Center Processing Unit, CPU suorittaa tietokoneohjelman sisältämiä konekielisiä käskyjä.
DVI-I	Digital Visual Interface - -Integrated, DVI-I on liitintyyppi, joka siirtää sekä analogi- että digitaalisignaalia
OCT	One Cable Technology, Beckhoffin kehittämä yhden kaapelin teknologia.
ANSI	American National Standards Institute, yhdysvaltainen organisaatio, joka valvoo eri standardeitten kehittymistä.
IEC	International Electrotechnical Commission, kansainvälinen sähköalan standarsointiorganisaatio
NiMH	Nikkelimetallihydridiakku
NiCd	Nikkelikadmiumakku

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

Metropolia Ammattikorkeakoulun automaatiotekniikan koulutusohjelma sai tilauksen Metropolia-palvelurobotiikan osaamiskiihdyttämöltä tehtäväksi tehdä etäohjattava Omni-palvelurobotti. Osaamiskiihdyttämät ovat Metropolian omia tuotekehityshankkeita. Projektin tarkoituksena oli myös näyttää, että on mahdollista valmistaa protomallin palvelurobotti lyhyessäkin ajassa. Robotti oli myös tarkoitus esitellä Robottiviikolla Helsingissä 24.–30.11.2014. Metropolia Ammattikorkeakoulu oli tilannut valmiiksi Beckhoffin CPU:n CX2020 ja siihen sopivat servomoottoriohjaintermiinit EL2711 sekä Beckhoffin servomoottorit AM8113 ja AG2250-+PLE40-M02-20 -planeettavaihdokokonaisuuden. Näiden servomoottoreiden pohjalta piti suunnitella tuleva robotti.

1.2 Työn tavoitteet ja toteutus

Työn tavoitteena oli rakentaa etäohjattava palvelurobotti. Tarkoituksena oli, että laitteen käyttäjä pystyisi ohjaamaan robottia Logitech Extreme 3D Pro Joystikin avulla etäältä Wi-Fi-verkon kautta automaattisesti tai manuaalisesti. Laitteen tarkoituksena oli myös liikkua automaattisessa tilassa itsekseen turvallisesti. Manuaaltilassa laitteen käyttäjä toimii ohjaajana WansCam Ip -kameran yhteyden avulla. Robottiin on tarkoituksena saada myös puhe- ja videokeskusteluyhteystabletin avulla robotin ja käyttäjän välille.

Työssä oli tarkoituksena myös suunnitella robotin runko niin, että kaikki tarvittavat laitteet saadaan mahdollisimman kompaktiin tilaan, sekä suunnitella mahdollisimman tehokas ja hyödyllinen liikkumismuoto.

Työ toteutettiin kuuden hengen ryhmässä Metropolia Ammattikorkeakoulun Leiritien toimipisteessä automaatiolaboratoriossa. Työlle oli varattu yksitietokone sekä WLAN-lähetin. Tietokoneelle tuli asentaa tarvittavat ohjelmat, ohjainlaitteet sekä Wifi-reitittimet. Työhön kuului laitteiston asennusta, 3D-mallinnusta, kameroiden ja tabletin yhteyden muodostamista sekä C#-koodin ja käyttöjärjestelmän tuottamista.

2 Laitteisto

Laitteisto suunniteltiin Beckhoffin valmistamien tuotteiden valikoimasta. Tämä nopeutti valmistusta ja helpotti suunnittelua laitteiden kommunikoinnissa. Beckhoffin laitteista saatiin tarvittavat tehot tiedon käsittelyyn sekä fyysiseen voiman tuottoon.

2.1 Beckhoff CX2020 CPU

Beckhoffin CX2020 on 1,4 GHz:n Intel® Celeron® CPU ilman tuuletinta ja muita pyöriä osia. CX2020:ssa on työmuistia 2GT RAM:ia. CX2020 sisältää Cfast-muistikortin, jossa on kaksi itsenäistä Cbit Ethernetliitäntää sekä neljä USB 2.0 -paikkaa ja DVI-liitäntä. CX2020:sen käyttöjärjestelmänä on Microsoft Windows Embedded Compact 7. Laite tarvitsee 24 V DC jännitteen toimiakseen.

Robotissa käytettiin CX2020:stä kahta USB 2.0 -paikkaa. USB-paikkoihin kytkettiin WansCam Ip -kamera, jota käytettiin robotin ohjauksen hyödyntämisessä, sekä langaton USB-reititin ASUS USB-N13, jolla saatiin langaton yhteys robottiin. CX2020:n perään liitettiin Beckhoffin kortit, joista kerrotaan alempana. CX2020 CPU:nohjelmointi toteutettiin TwinCAT 3:lla. (1.)

2.2 Beckhoff EL7211-0010EtherCAT -terminaali

Beckhoffin EL7211-0010 servomoottorin EtherCAT -terminaalia käytettiin ohjaamaan robotin servomoottoreita. EL7211-0010-korttiin on integroitu OCT (One Cable Technology), josta saatiin suuri hyöty työhön. Sillä saatiin luettua suoraan automaattisesti parametreja servolta. EL7211-0010:lla pystytään ohjaamaan 8...50V DC:n jännitettä servolle sekä käyttämään jatkuvana tehona 4.5 ARMS. Työssä käytettiin 24V DC:n maksimi jännitettä. Kävi myös selväksi että 24V DC -jännite oli optimaalinen robotille. 50V DC -jännite olisi tehnyt robotista liian voimakkaan, kun otetaan turvallisuus huomioon. (2.)

2.3 Beckhoff EL2004–digitaalinen lähtökortti

Beckhoffin EL2004 on nelikanavainen digitaalinen lähtökortti, joka yhdistää binääriohe-
jauksella signaalit automaatiolaitteisiin. EtherCAT -terminaali ilmaisee signaalien tilan
LED:ien avulla.

2.4 Beckhoff EL9576–EtherCAT terminaali

Työssä käytettyä EL9576 EtherCAT -terminaalia käytetään yhdessä EL7211-0010 -
terminaalin kanssa moottoreiden ohjaukseen. EL9576-kortti toimii hakkuri korttina oh-
jauksessa. EL9576-kortin on tarkoitus antaa mahdollisimman tasainen jännite akuilta.
(3.)

2.5 Servomoottorit ja vaihde

2.5.1 Beckhoff AM8113 servomoottori

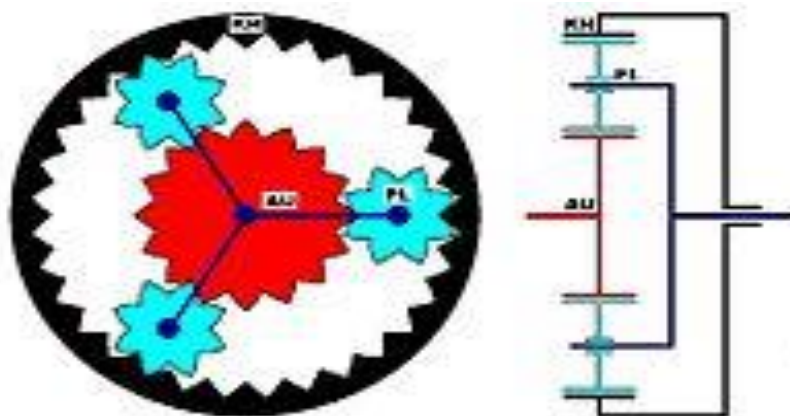
Työhön oli tilattu valmiina kolme kappaletta Beckhoffin AM8113-0F20-0000-
servomoottoreita, jotka oli tarkoitettu sovittaa robotin käyttöön. Moottorit olivat pieniä ja
helposti sovitettavissa Omni-robottiin. Moottorin enimmäisvääntöpystyy jopa 2,04
Nm:iin, mutta moottorin nimellisvääntö on 0.5 Nm:n luokkaa. (4; 5.)

2.5.2 Beckhoff AG2250-+PLE40-M02-20-planeettavaihde

Moottoreihin oli tilattu samalla AG2250-+PLE40-M02-20-planeettavaihde. Vaihteella
saadaan tuotettua nimellisvääntö 20 Nm ja maksimeissa päästään 32 Nm:n vääntöihin.

Yksinkertaisen planeettavaihteen toiminnassa on kolme tärkeätoiminnollisuuteenliitty-
vää osakokonaisuutta: aurinkopyörä (AU), planeettapyörät (PL) sekä sisähammastettu
kehäpyörä (KH) (7).

Kuvasta 1 selviää paremmin, miten aurinkopyörä (AU) on rynnössä planeettapyörien (PL) kanssa. Planeettapyöriä on yleensä 3-6kpl planeettavaihtimessa. Planeettapyörät ovat vielä rynnössä kehäpyörän (KH) kanssa. Planeettavaihtimessa valitaan yksi osa sisääntuloksi ja yksi osa ulostuloksi. Loput jäljelle jäävät osat lukitaan, jolloin saadaan muodostettua välityssuhde.



Kuva 1 Planeettavaihtimen yksinkertainen toiminta (7)

2.6 Muut laitteet

2.6.1 Akut

Työssä käytettiin GP NiMH Battery-kennoja. Kennot on rakennettu yhdeksästä sarjaan kytketystä yksittäisestä ANSI tyyppi D (IEC: LR20) Ni-MH 1,2V, 9000mAh akusta. Tällä saadaan yhden kennon jännitteeksi n.12 VDC ja akun kapasiteetiksi 9000mAh. Kennot on kytketty myös sarjaan, jolla saavutetaan robotille tarvittava käyttöjännite 24 VDC. (8.)

Työhön valittiin tarkoituksella NiMH-akut. Niillä saatiin pieneen tilaan hyvin jännitepurkauksia kestävät akut, jotka kestävät n.1000 uutta latauskertaa. NiMH-akkujen hyvänä puolena voidaan pitää sitä, että niihin ei synny ajan mittaan niin sanottua ”muisti-ilmiötä” verrattuna vanhoihin NiCd -akkuihin. (9; 10.)

Muisti-ilmiöllä (memory effect) tarkoitetaan vanhoja NiCd-akkuja vaivannutta ominaisuutta, jossa akku ikäänkuin muistaa varaustason, johon se on purettu. Esim. 1000 mAh akku ladataan ensin täyteen ja sitten käytetään puolet varauksesta ja laitetaan jälleen lataukseen. Jos näin tehdään jatkuvasti, akku ei enää purkaudu 500 mAh jälkeen, vaan käyttäytyy kuin tyhjä akku. Eli lyhyesti sanottuna, muisti-ilmiö tarkoittaa akun kapasiteetin pienenemistä. (10.)

Uusissa NiMH-akuissa muisti-ilmiö on erittäin vähäinen, ja tällä saavutetaan jatkuva paras suorituskyky.

2.6.2 Logitech Extreme 3D Pro Joystick

Logitech Extreme 3D Pro Joystick-ohjain otettiin käyttöön koululta. Ohjain soveltui hyvin juuri robotin ohjaukseen, sillä Logitech Extreme 3D Pro Joystickilla pystyttiin käyttämään hyväksi ohjainakselin liikkuvuutta. Ohjainta pystytään liikuttamaan X- ja Y-koordinaatistossa sekä vielä kiertoliikkeellä, mikä mahdollistaa 3D:maisen liikkumisen.

2.6.3 Kamera

Omni-robotin liikkumisen helpottamiseksi asennettiin WansCam Ip -kamera, jolla pystyttiin muodostamaan verkkokuva käyttöliittymään. Kamera tukee langatonta verkkoa (Wi-Fi/802.11/b/g), dynaamista IP-osoitetta UPnP LAN -verkkoa ja internetiä, jolla pystytään ottamaan 640X480-resoluutioista VGA-kuvaa. Kuvausnopeus kameralla on 15/30 kuvaa sekunnissa. Kameralla pystytään kuvaamaan pimeässä ja pienin kuvaus tila on minimivalaistuksessa 0.5LUX/F2.0 IR. (11.)

2.6.4 Tabletti

Projektissa käytettiin Acer-tablettia, johon oli asennettu Linuxin käyttöjärjestelmä. Linux-järjestelmä otettiin käyttöön, koska sillä saatiin luotua yhteys helpommin CX2020 CPU:hun.

2.6.5 Tietokone

Työssä käytettiin useampaa tietokonetta, mutta tärkeimpinä vaatimuksina tietokoneelle oli seuraavat tiedot, jolla ohjattiin Omni-robotia:

- 1,6 GHz suoritin, joko x86- tai x64-tekniikalla
- 2 GB RAM-muistia
- 4 GB vapaata kovalevytilaa

- näytönohjainjoka tukee vähintään 1024x768 resoluutiota ja DirectX 9-tekniikkaa (12).

2.6.6 Wi-Fi-reitin

Työssä käytetty Asus RT-N12 D1 Wi-Fi-reititin on 802.11n-standardin langaton reititin. Asus RT-N12 D1-reitittimellä pystytään 300 Mbps siirtonopeuksiin 2,4Ghz:n taajuudella langattomassa verkossa. Laitteessa on kaksi 5 dBi-antennia sisäisellä signaalin vahvistimella. Tämä takaa paremman häiriöttömän signaalin erilaisissa tiloissa. (13.)



Kuva 2 Työssä käytetty Asus RT-N12 D1 (14)

2.6.7 Langaton reititin

Projektissa käytettiin langatonta USB-reititintä ASUS USB-N13:a, joka näkyy kuvassa 3. ASUS USB-N13 käyttää 802.11n-standardin langatonta lähiverkkoa. N13:sta on mahdollista suorittaa 300Mbps liikennöintinopeus. ASUS USB-N13 on liitetty robotin CX2020 CPU:n USB-liittimeen. (15.)



Kuva 3 ASUS USB-N13 (16)

2.6.8 Moottori kaapelit

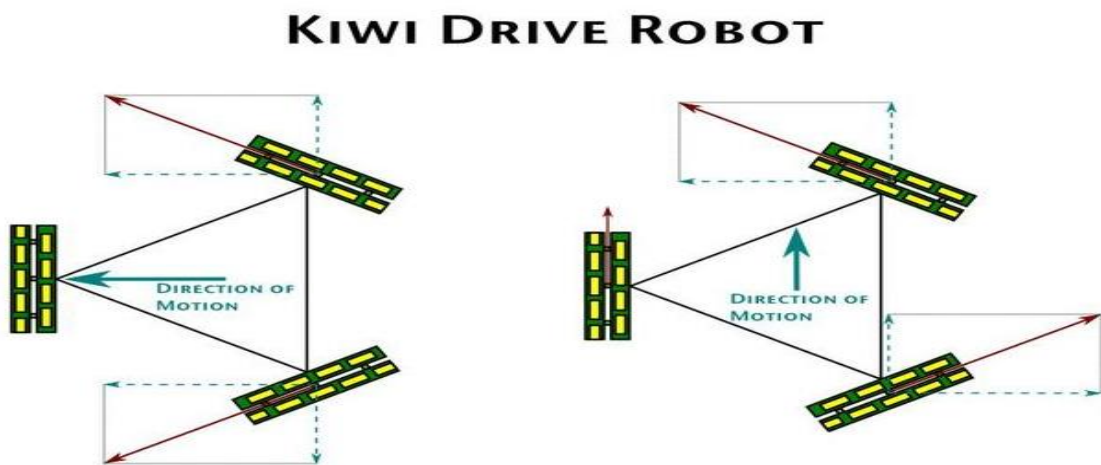
Projektissa käytettiin ZK4704-0421-2010-moottorikaapeleita kuva 4, jotka on suunniteltu yhden kaapelin tekniikalla(OCT; One Cable Technology). Kaapelin liitin saadaan asennettua moottoriin iTec-liittimellä. Kaapelissa on kytkentämerkinnät valmiina, mikä nopeuttaa asennusta EL2711-0010-terminaaliin.



Kuva 4 Beckhoffin ZK4704 kaapeli (17)

2.6.9 Renkaat

Projektissa otettiin käyttöön Omni-renkaat, sillä robotin kokoonpano suunniteltiin Kiwi Driven mukaisesti. Kuvassa 5 on kuva Kiwi Drive-periaatteesta. Omni-renkaat antavat robotille mahdollisuuden liikkua niin X- ja Y-koordinaatiston mukaisesti sekä alustan liikkua pyörien akselinsa ympäri.



Kuva 5 Kiwi Drive-periaate (18)

levyn ympäri kehälleön koottu Omni-pyörät, jotka ovat kohtisuorassa pyörimissuuntaan nähden. Pyörän tarkoituksena on pyöriä normaalisti kehänsä ympärillä ja mahdollistaa myös pyörän liukumisen sivuttaissuunnassa. Pyöriä käytetäänkin yleisesti holonomisisa tekniikoissa. Alla olevasta kuvasta näkee Omni-pyörän rakenteen jota käytettiin projektissa. (19.)



Kuva 6 Omni rengas (20)

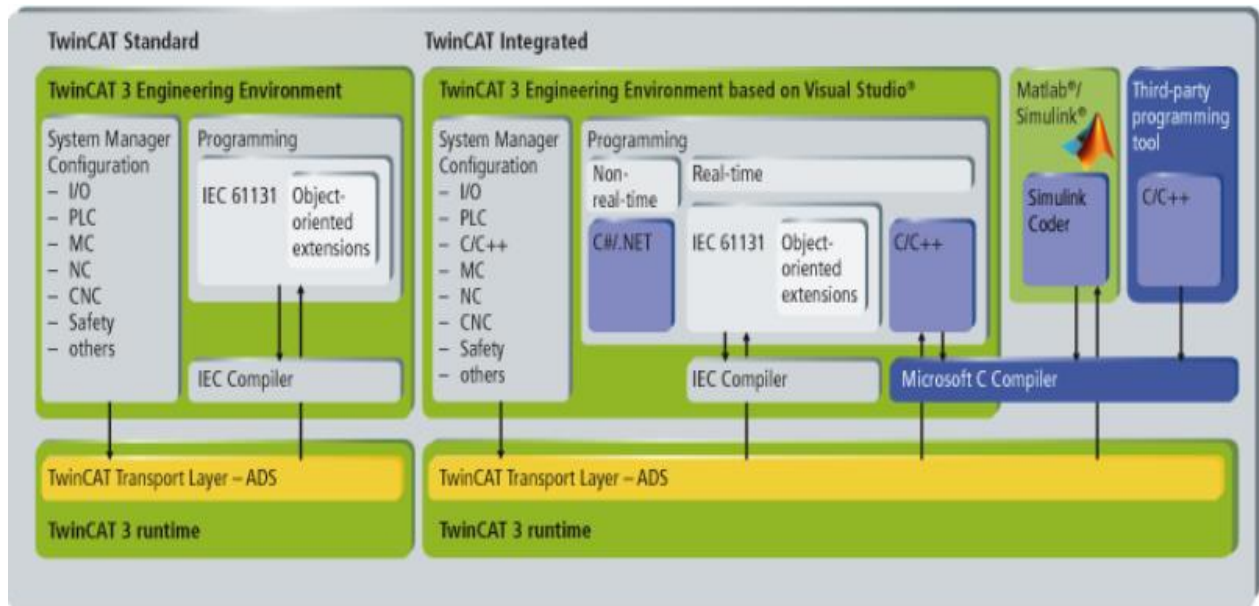
3 Ohjelmat

3.1 Beckhoff TwinCat 3

Projektissa käytettiin Beckhoffin TwinCat 3:a, joka on TwinCat-ohjelmista uusin. TwinCat 3:sta käytetään myös toista nimitystä, eXtended Automation (XA). Ohjelma sisältää kaksi eri ohjelmaa: (12, s. 38)

- eXtended Automation Runtime (XAR)
- eXtended Automation Engineering (XAE)

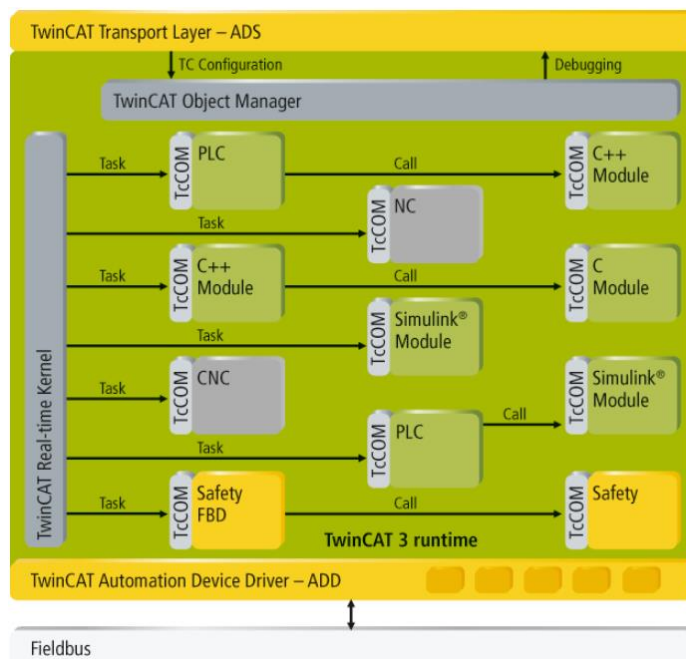
Ohjelmien keskinäinen tiedonsiirto tapahtuu "TwinCAT Transport layer – ADS"rajapinnan avulla. ADS:ssä on rajapinta ohjelmointiympäristön ja Runtimen välillä. ADS:n kautta kulkee kaikki liikenne ohjelmien välillä. Oheisesta kuvasta 7 selviää, miten TwinCatin eri osiot liittyvät toisiinsa. (12 s. 38)



Kuva 7 TwinCatin liitynnät toisiinsa (21)

3.1.1 eXtended Automation Runtime (XAR)

eXtended Automation Runtimellaluodaan reaaliaikainen ympäristö, johon pystytään lataamaan TwinCAT-moduuleita. Moduuleita, joita on ladattu, pystytään tämän jälkeen suorittamaan ja muokkaamaan reaaliaikaisesti. Alla olevasta kuvasta 8 pystytään näkemään runtime -ohjelmiston rakenne lohkokaaavana. (12. s. 38)



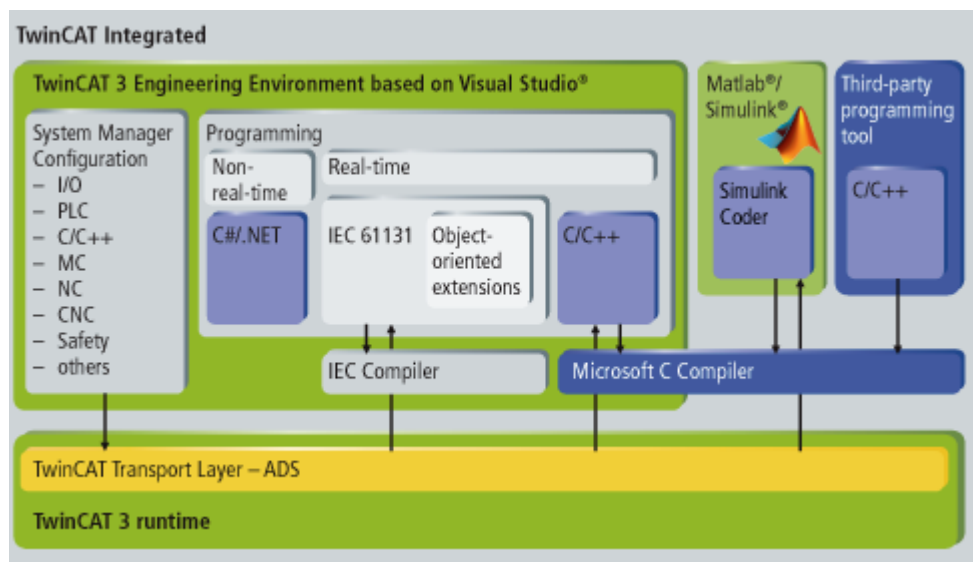
Kuva 8 TwinCAT 3 runtimen moduulit (22, s. 12)

Twin-CAT Real-time Kernel -ydin ohjaa reaaliaikaisesti eXtended Automation Runtime -ohjelmaa. Ytimen tarkoituksena on ohjata ohjelman toimintaa. Twin-CAT Real-time Kernel on yhteyksissä kaikkiin ladattuihin moduuleihin. Moduulit pystyvät hakemaan tietoja (Call) myös toisilta moduuleilta. (12, s. 39)

Moduuleilla on oltava TcCOM (TwinCAT Component Object Model) -osa. TcCOM -lohkot mahdollistavat samassa ohjelmassa eri ohjelmilla tehtyjä ja eri kääntäjillä käännettyjä lohkojen käyttämistä. TcCOM:iin sisältyy tarkat tiedot lohkojen toiminnasta ja tavoista, millä pystytään kommunikoimaan muiden lohkojen kanssa. (12, s. 39)

3.1.2 eXtended Automation Engineering (XAE)

eXtended Automation Engineering -ohjelma on ohjelmointi- ja konfigurointiympäristö TwinCAT 3:lle. TwinCAT Engineering -ohjelmisto on tehty Microsoft Visual Studion päälle. Tämä antaa mahdollisuuden käyttää monipuolisemmin Visual Studion toimintojen TwinCAT Engineering-ohjelmassa. Kuvasta 9 näkee tarkemmin, mitä toimintoja voidaan TwinCAT 3:lla ohjelmoida. (12, s. 40)



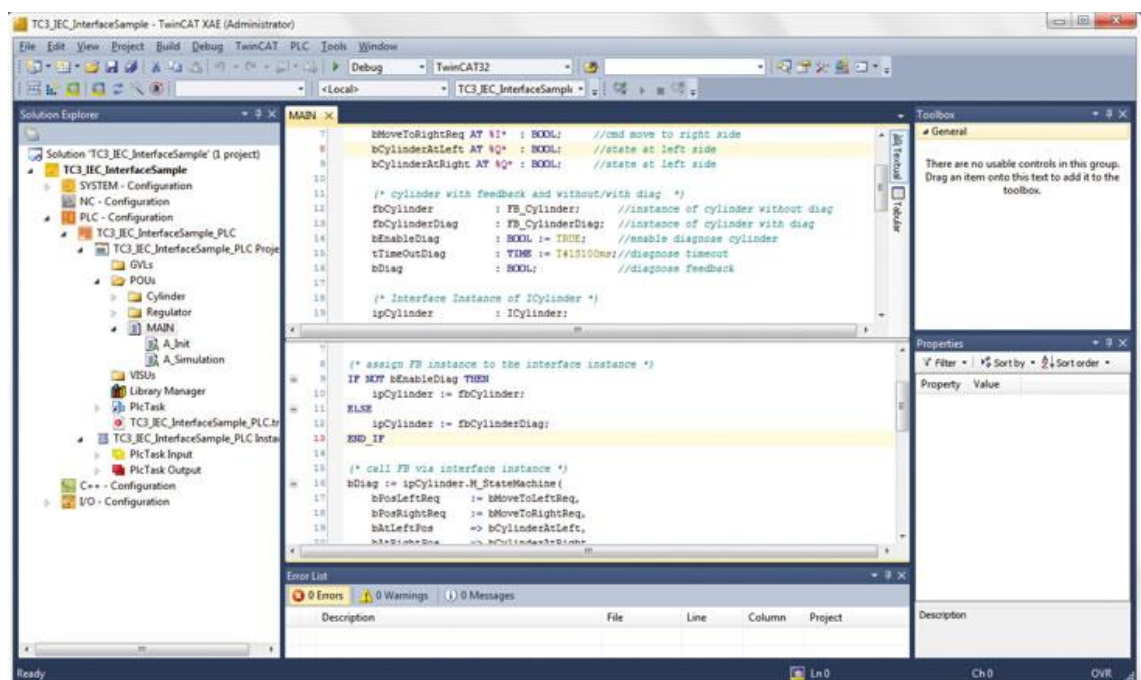
Kuva 9 Ohjelmoitavat toiminnot TwinCat 3:ssa (22, s. 4)

TwinCAT 3 Engineering Enviromentin sisällä on System Manageri, jonka avulla pystytään konfiguroimaan kaikki TwinCAT 3:een kytketyt laitteistot. Yleisimpiä konfiguroita-

via kohteita ovat NC- ja CNC-ohjaukset, järjestelmään kytkettävät I/O, kenttäväylät ja ohjelmoitavat logiikat (12, s. 40–41).

IEC 61131-3-standardi on yhteensopiva ohjelman kanssa. TwinCAT Engineering-ohjelma sisältää editorin. Kaikkia standardin mukaisesti kirjoitettuja koodeja voidaan tarkastella ja muokata editorilla. Kaikkia standardin mukaisia ohjelmointikieliä voidaan myös kirjoittaa koodiksi ohjelmalla. Ohjelma sisältää IEC-kääntäjän, joka kääntää standardin mukaisen koodin ohjelman käyttämäksi TwinCAT-moduuliksi. (12, s. 41)

Microsoft C Compiler -kääntäjä kuuluu Visual Studioon. Microsoft C Compilerin avulla voidaan kääntää C- tai C++-kielinen koodi TwinCAT-moduuleiksi. Tätä samaa kääntäjää pystytään käyttämään muiden valmistajien ohjelmointityökaluilla kirjoitetun C- tai C++-koodin kääntämiseen. Visual Studio -ohjelmalla pystytään tekemään ohjelmaa myös C# tai .NET-ohjelmointikielillä. (12, s. 41)



Kuva 10 Näkymä TwinCAT 3:sta (23)

Ylemmässä kuvassa 10 näkyy leike perinteisestä XAE-ohjelman ikkunasta. Ohjelman ikkuna on muokattavissa kunkin käyttäjän mieltymyksiensä mukaiseksi. Ohjelman vasemmalla puolella oleva "Solution Explorer"-ikkuna, joka toimii TwinCAT-projektin puurakenteena minkä avulla liikutaan ohjelmassa. Puurakenteessa on projektit jaoteltu kuuteen pääosioon: System, Motion, PLC, Safety, C++ ja I/O. Pääosiosta valittu pro-

jekti tulee näkyviin ohjelman keskellä olevaan ikkunaan. Kuvassa 10 on valittu PLC-projekti joka näkyy MAIN-ikkunassa. "Properties"-ikkunassa näkyy valitun kohteen ominaisuudet. "Error List"-ikkuna näyttää ohjelmassa tapahtuneet virheet, hälytykset ja viestit. (12, s. 42)

3.2 Autodesk Inventor Professional 2015

Tässä työssä käytettiin Autodesk Inventor Professionalia 3D-mallinnusta mekaaniseen suunnitteluun. Ohjelmalla suunniteltiin työssäkäytetyt runko- ja alustalevyt, jotka tilattiin mittatilaustyönä Laserle Oy:ltä. Autodesk Inventor Professional on 3D-mallinnusohjelma mekaniikkasuunnitteluun, dokumentointiin ja tuotesimulointiin. (24.)

3.3 Visual Studio 2013 ja WPF-työkalu

Microsoftin Windows Visual Studio 2013 on ohjelmankehitysympäristö. Visual Studiossa voi käyttää useita ohjelmointikieliä kuten Visual Basiciä, C++:aa, C#:a ja F#:a. Ohjelmointityökalua käytetään usein Windows-, web- ja mobiilisovelluksiin johtuen sen helposta graafisten käyttöliittymien luonnista. (25.)

WPF-työkalu (Windows Presentation Foundation) mahdollistaa kehittyneempien ja modernin kehityksen graafisissa käyttöliittymissä. (25.)

Tässä työssä käytettiin Visual Studiota 2013 graafisen käyttöliittymän tekoon, joka tehtiin C# ohjelmointikieltä käyttäen.

4 Ohjelma

Ohjelma suunniteltiin sen mukaan, miten robotin rakenne oli suunniteltu. Rakenne on kolmionmuotoinen, ja sillä käytetään kolmea rengasta, niin sanottu "Kiwi Drive Robot"-menetelmä.

4.1 Liike

Työssä käytetyltä ohjaimelta saatiin koordinaattitiedot X,Y ja Z, jotka robotin PLC laskee ohjeluvuiksi. Jokaiselle moottorille on oma laskentakaavio, jota se noudattaa. (26, s. 4)

1. akseli

$$x \times \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{x}{2} + z$$

2. akseli

$$y \times \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{x}{2} - z$$

3. akseli

$$x - z$$

Z-koordinaatti ei varsinaisesti ole tarpeellinen ohjauksessa, mutta sillä saadaan käännettyä jokaista akselia aina. Ohjearvot ovat väliltä -1... +1. (26, s. 4)

4.2 Liitynnät ja rajapinnat

Työhön liityntään riitti 802.11n-standardin langaton verkkoyhteys ja PLC puolelle asennettuna protokollana OPC UA. Operaattori tarvitsee käyttöön Windows ympäristöä ja .NET Framework-liitännäistä.

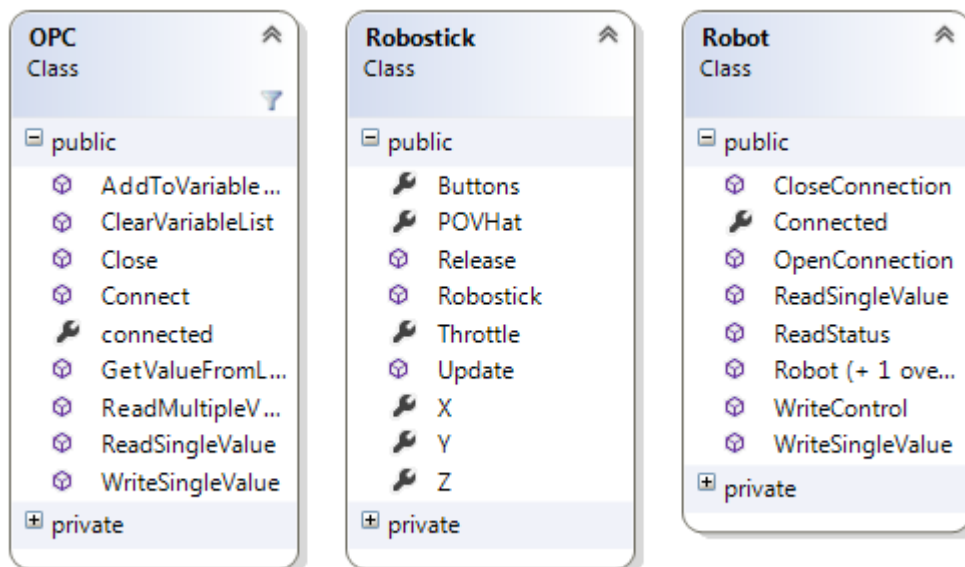
5 Käyttöliittymä

5.1 Käyttöliittymän toteutus

Työssä tehty käyttöliittymä toteutettiin Visual Studio 2013-kehitysalustalla käyttäen C# -kieltä sekä WPF-työkaluja (Windows Presentation Foundation). WPF-työkalu antaa mahdollisuuden kehittyneemmälle ja modernimmalle kehityksen graafisissa käyttöympäristöissä. WPF sovelluskehityksessä on myös siinä mielessä hyvä, että se erottaa ohjelmakoodin sekä käyttöliittymäkoodin erilleen, eikä täten sotke näitä kahta keske-

nään kuten Windows Forms.Käyttöliittymän ulkoasua muokataan XML:llä ja ohjelmakoodia kirjoitetaan C#:lla. (27, s. 1)

Ohjelma aloitettiin käyttämällä kolmea luokkaa OPC-, Robosticks (ohjain)- ja Robot-luokkaa. Luokkien hahmottelu on esitetty oheisessa kuvassa 11. (27, s. 2)



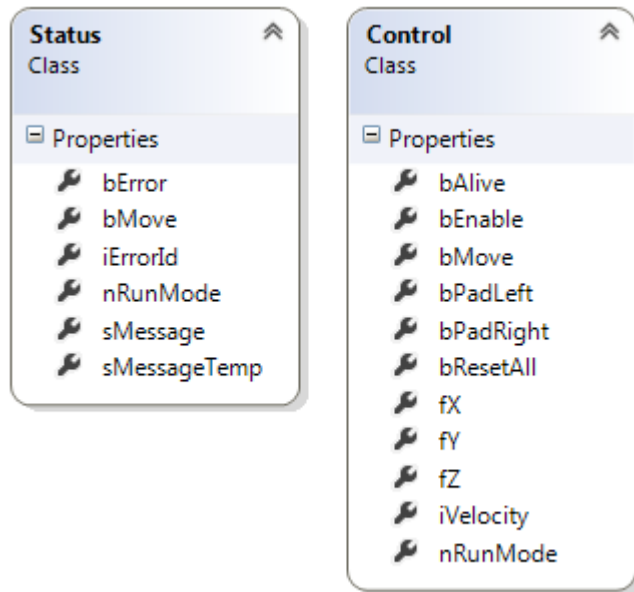
Kuva 11 Luokkien hahmottelua käyttöliittymän alkuvaiheessa (27, s. 2)

Luokat määriteltiin siten, että luokkien suhteen OPC-luokasta tuli Robot-luokan jäsenmuuttuja ja Robot- ja Robostick-luokat olivat siten taas pääikkunan-luokan jäsenmuuttuja. OPC-luokan tehtävänä on siirtää robotin ja käyttöliittymän välillä tietoa. Robostick-luokan tehtävänä on lukea Logitech Extreme 3D Pro Joystick-ohjaimenliiketiedot. Robotin tilatietojen lukemisen hoitaa Robot-luokka. (27, s. 2)

Ohjelman toiminta käyttäytyi pääpiirteittäin siten, että pääikkuna-luokassa on syklinen ajastin dispatcherTimer, jonka eventtinä suoritetaan dispatcherTimer_Tick -niminen funktio. Funktiossa luetaan ensinmäiseksi robotin tila, jonka jälkeen robotin tilatiedot annetaan käyttöliittymän tietoa esittäviin objekteihin. Tämän jälkeen luetaan käyttäjän antamat syötteet (joystickin asento ja muut komennot) ja kirjoitetaan ne robotin rajapintamuuttujiin. (27, s. 2)

Robotin ja käyttöliittymän tilatietojen päivityksen hallinnoimiseksi piti luoda kaksi uutta luokkaa, Status- ja Control-luokat. Tämä antoi mahdollisuuden laittaa kirjoitus- ja lukufunktion parametrina olioon. Mikäli tätä ei olisi tehty, olisi parametrit pitänyt lukea ja

kirjoittaa yksi kerrallaan. Status- ja Control-luokkien sisältö on esitetty kuvassa 12. (27, s. 3)



Kuva 12 Robotin tilan lukua ja kirjoitusta varten tehdyt Status- ja Control-luokat (27, s. 3)

Laskutoimenpiteisiin, joita käytettiin robotin ohjaamiseen, luotiin oma staattinen luokka, Robocalc-luokka. Staattisesta on se hyöty, ettei tarvitse luoda oliota sitä käyttääkseen. Esimerkiksi `c# Console.WriteLine (string teksti)`, jolla kirjoitetaan tekstiä konsoliohjelmassa, kutsutaan staattisesta Console-luokasta. (27, s. 4)

5.2 Käyttöliittymän käyttö

Työssä tehty käyttöliittymä suunniteltiin siten, että se muodostuu kahdesta videoikkunasta, nappikentästä sekä robotin tilatietoja esittävästä kentästä. Kuvassa 13 on esitetty käyttöliittymästä ulkoasu sekä esitetty käyttöliittymän toiminnot. (27, s. 4)



Kuva 13 Käyttöliittymän ulkoasu (27, s. 5)

Robotin WansCam Ip-kamerasta tulee kuva käyttöliittymän vasemman puoleiseen videoikkunaan. Videoikkuna helpottaa robotin ohjaamista. Kameraa pystytään kääntämään myös videoikkunassa olevista kontrolleista, ja pimeänäkömoodi on mahdollista kytkeä päälle. (27, s. 5)

Projektin loppupuolella käyttöliittymän teossa rupesi tulemaan kiire, joten käyttöliittymään tuleva kameran videokuva upotettiin web-komponentin avulla. Käytännössä tämä tarkoitti, että käyttöliittymään sisällytettiin selainikkuna, joka yhdistää kameran selainpohjaiseen hallinta-ikkunaan. Selainikkunassa käytettiin WansCam Ip -kamerantehtyä valmista ohjelmaa. Ohjelmassa oli valmiina ohjauskomponentit WansCam Ip-kameralle. Yhdistäminen toteutuu RoboCam-laatikon Connect-napilla. Samaa periaatetta käytetään myös videokeskustelun videoikkunaan. (27, s. 5)

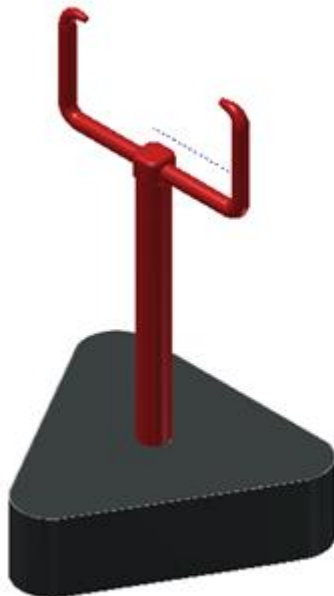
Käyttöliittymään tehtiin myös Manual-, Auto- sekä Off-tilaan mahdollistamat toiminnot. Lopulliseen käyttöliittymään ei tehty vielä automaatiotilaan toiminnollisuuksia. Auto-tila on suunniteltu lähinnä tulevaisuutta ajatellen, jolla voisi mahdollistaa esim. itsenavigointijärjestelmän. Käyttöliittymän manuaali-tila antaa robotin ohjaajalle mahdollisuuden itse ohjata robottia Logitech Extreme 3D Pro Joystick-ohjaimen avulla. (27, s. 5)

Ohjaimen Logitech Extreme 3D Pro Joystickin taivutustilatietokentistä pystytään lukemaan robotin ja ohjaimen Logitech Extreme 3D Pro Joysticktilatiedot. Näitä tilatietoja on mm. ohjaimen positio ja kiertokulma, sekä robotin käyttötieto, jotka ovat Manual-, Auto- sekä Off-tila. Tilatiedoista näkee myös, onko robotti liikkeellä. Käyttöliittymän graafisesta tilaikkunasta pystytään näkemään myös, mihin suuntaan robottia ollaan ohjaamassa. (27, s. 5)

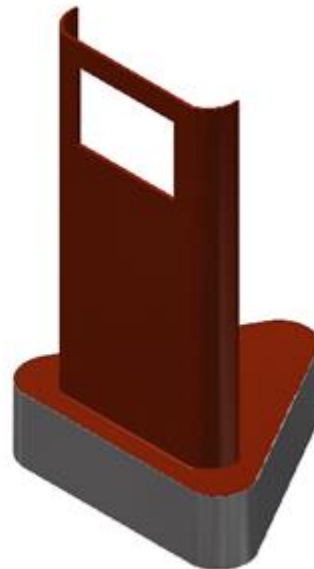
Käyttöliittymässä on myös loki-ikkuna, johon tulee ohjelmoituja tilaviestejä robotilta. Projektin aikataulu ei antanut tälle toiminnalle mahdollisuutta rakentaa kunnollisia tilaviestejä, mutta käyttöliittymään saatiin ohjelmoitua kaksi tilaviestiä. Robotti pystyy lähettämään viestin, kun se lähtee liikkeelle sekä pysähtyy. (27, s. 5)

6 3D-mallintaminen, muotoilu ja levyjen työstö

Robotin suunnittelussa käytettiin hyödyksi Autodesk Professional 2015:tä, jolla suunniteltiin työssä käytetyt alustalevyt sekä komponenttien mahtuvuus levyille. Robotista tehtiin muutamia 3D-mallinnuksia, joilla selvitettiin myös mahdollista ulkonäköä. Kuvas-
ta 14 ja 15 selviää ideat, jotka jätettiin pois työn vaativuuden ja aikataulutuksen vuoksi.



Kuva 14 esimerkki 1. 3D-kuva ideasta



Kuva 15 esimerkki 2. 3D-kuva ideasta

6.1 3D-mallin suunnittelu

Robotin muotoilun suunnittelu alkoi annettujen komponenttien perusteella, joita oli käytettävä robottia tehdessä. Annetut osat olivat Beckhoffin CX2020 CPU, johon oli kytketty rinnan EL2004-kortti sekä EL7211-servotermiinaalit, Beckhoffin servomoottorit AM8113-0F20-0000, joita oli kolme kappaletta sekä kaksi kappaletta GP NiMH Battery:ä, joita hyödynnettiin työssä.

Suunniteltiin alusta asti moottorit laitettavaksi Kiwi Drive Robotin mukaisesti. Alun perin suunnitteilla oli tehdä alustalevystä pyöreä, mutta laitteen paino olisi kasvanut liikaa, joten robotin aluslevyt suunniteltiin kolmioon, jossa moottorien väliin sovitettiin osa komponenteista. Keskilevykerrosta käytettiin ainoastaan Beckhoffin CX2020 CPU:n käyttöön. Kolmas kerros tehtiin ainoastaan kuljetusalustaksi, jolla saatiin demonstroitua robotin käyttöä.

6.2 Levyt

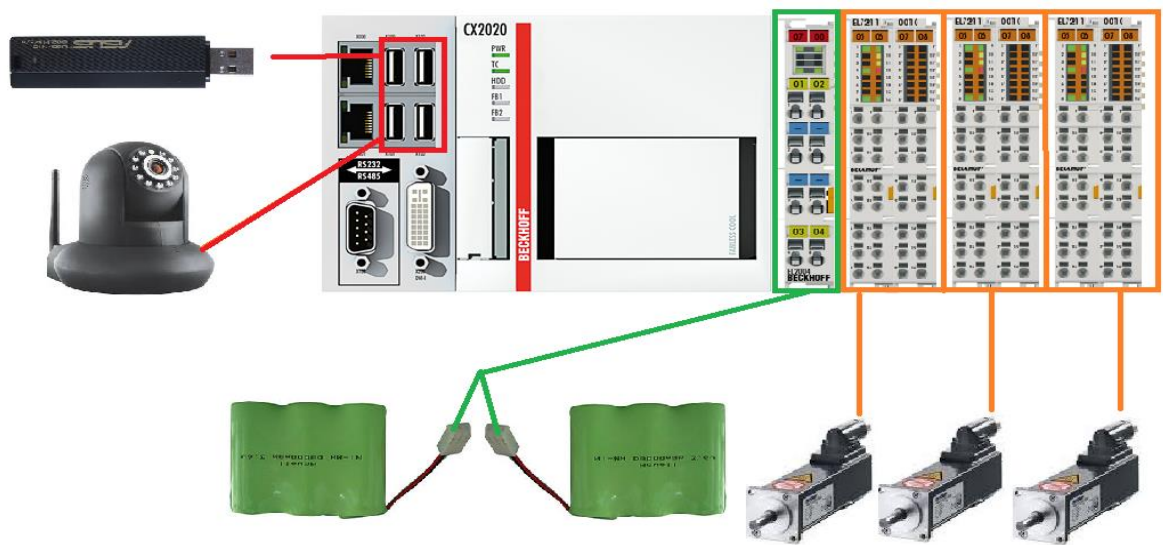
Robotissa käytettiin 2mm:n rosterilevyä, jonka muoto suunniteltiin AutoDesk Inventor Profesionali 2015:tä hyödyntäen. Tekniset kuvat liitteessä 1, 2 ja 3. Laserleikkausta käytettiin robotin levyjen ja tabletin pidikkeen työstämiseen. Robottiin tilattiin yhteensä neljä aluslevyä, mutta työssä käytettiin yhteensä kolmea aluslevyä ja yhtä tabletin pidintä. Yksi aluslevyistä tuli ylimääräisenä, sillä tilausta tehdessä olisi tullut tilauksen hinnaksi yhtä paljon, vaikka olisi tilattu vain kolme levyä. Laserleikkauksen suoritti Laserle Oy.

Laserleikkauksen periaate on käyttää laservaloa, joka kohdistetaan linssin läpi, jolla saadaan kohdistettua laserin valo tarkaksi polttopisteeksi. Laserin polttopiste kohdistetaan metalliin, jolloin se rupeaa sulattamaan metallia. Sula metalli puhalletaan pois leikkauskaasulla eli inertikaasulla.

7 Asennus ja johdotus

Robotin asennus oli suhteellisen helppoa laserleikattuihin mittatilauslevyihin. Komponentit menivät helposti tarkoitetuille paikoilleen. Kiinnityksissä käytettiin standardi -kiinnikkeitä, kuten kierretankoa, muttereita ja ruuveja sekä liittimiä.

Robotissa käytettiin niin sanottua yhden kaapelin teknologiaa (OCT), moottorikaapelia Beckhoffin ZK4704-0421-2010-servojen kytkentään Beckhoffin EL2711-0010-servotermiinaaleihin. Asennuksen muut johdotukset tehtiin riviliittimiä hyödyntäen. Alla olevasta kuvasta 16 nähdään laitteiden kytkentä periaate Beckhoffin logiikalle.



Kuva 16 KytKentä periaate

Moottorien kytKentä

Moottorit kytkettiin ZK4704-0421-2010-moottorikaapelilla Beckhoffin EL7211-0010-termiinaaliin. Moottorin pään kytKentä tapahtuu yksinkertaisella iTec-liittimellä. iTec-liittimessä johtimet on sijoitettu omille paikoilleen. Alla olevassa kuvasta 17 selviää iTec-liittimen toiminta ja kytKentä.

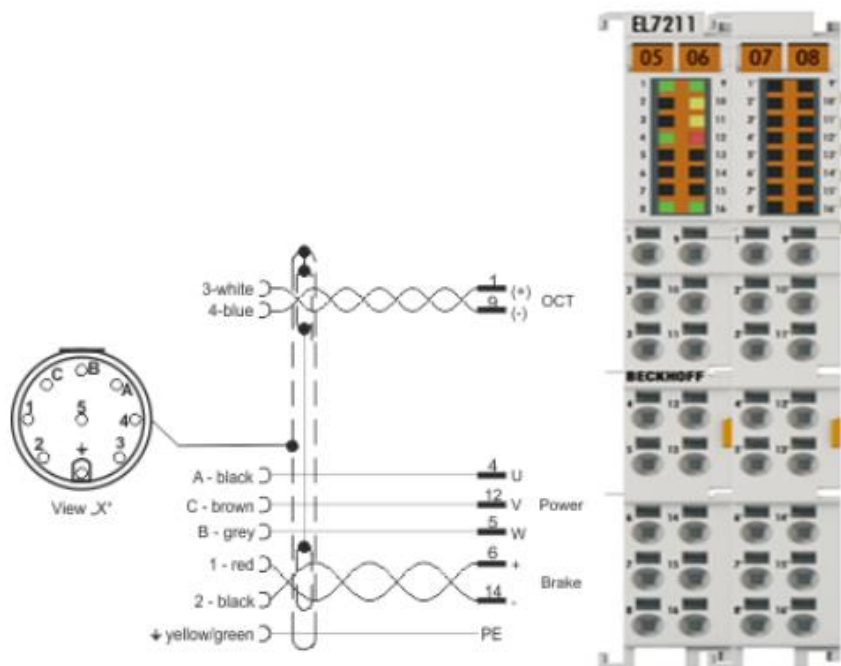


Kuva 17 iTec-liittimen kytkentä (28, s. 28)

Moottorikaapelissa 1- (punainen) ja 2- (musta) johdin ovat jarrunohjausjohtimia.

1-johdin on kytketty EL7211-0010-terminaaliin 6+-liittimeen ja 2-johdin EL7211-0010 14-liittimeen. Kaapelin A-(musta), B-(ruskea) ja C- (harmaa) -johtimet ovat moottorin jännitekaapelit, jotka on kytketty EL7211-0010-terminaaliin seuraavalla tavalla: A → 4 U, B → 5 W ja C → 12 V. Johtimet 3 (valkoinen) ja 4 (sininen) ovat OCT-johtimet. Johdin 3 kytketään EL7211-0010:n liittimeen 1(+) ja johdin 4 liittimeen 9 (-). Maajohdin kytkettiin robotin runkoon. Kuvasta 18 selviää liitännät

GP NiMH Battery-akut liitettiin sarjaan, jolla saatiin tarvittava 24 V DC:n jännite Beckhoff CX2020 CPU:lle sekä moottoreille. Akut kytkettiin tämän jälkeen vielä EL2004-liittimeen.



Kuva 18 iTec-liittimen kytkentäkuva (29)

8 Robotin käyttö tulevaisuudessa ja ideointi

Omni-robotin prototyypistä on potentiaalia saada tulevaisuudessa käyttöä palveluammateissa. Tällä hetkellä toimiva manuaaliohjaus on hyvä alku robotin kehitykselle. Tulevaisuudessa olisi mahdollista toteuttaa Omni-robotissa automaattista navigointia. Eräänä navigointi ideana oli hyödyksi käyttää useampaa Wi-Fi -reititintä, joiden avulla saataisiin paikannettua robotin sijainti. Ulkonaliikkuvuuteen voisi käyttää hyödyksi GPS-teknologiaa.

Robottiin voisi vielä kehitellä erilaisia nosto ja ojennus liikkuvuutta, jota voitaisiin käyttää joko manuaalisesti tai automaattiohjauksella. Laitteita voitaisiin käyttää myös tulevaisuudessa ryhmänä, jolloin ne voisivat palvella vaikka hotellitoiminnassa tavaravälittäjinä.

Kilpailevia tuotteita on jo markkinoilla, näistä tunnetuinon Giraff-robotti, jonka tarkoituksena on toimia kotiloissa kommunikointirobottina. Giraff-robotilla on tarkoitus olla puheyhteysissä vaikka hoitajaan Skype-yhteydellä. Kuva 19 esittää Giraff-robotin mallia.



Kuva 19 Giraff-robott (30)

Saksassa on viety teknologiaa jo pidemmälle. Care-O-Bot 4 on mobiilirobotiikan huipputekniikka. Care-O-Bot on inhimillisempi robotti, johon on ikäihmisten helpompi sa-

maistua, sillä robottiin on kehitelty kädet, joilla voidaan ojennella ja nostaa tavaroita sekä näyttöpaneelistä voidaan nähdä jo ”mielialan” vaihteluita. Alla olevasta kuvasta 20 näkee Care-O-Bot 4:n olemuksen.



Kuva 20 Care-O-Bot 4 (31)

9 Tavoitteidenyhteen veto

Projektityön tavoitteena oli saada Omni-robotti valmiiksi 24.–30.11.2014 oleviin Helsingin Robottiikka-viikolle, johon työ ei kerennyt. Työsaatiin kuitenkin valmiiksi koululla järjestettyyn mobiilirobottipäivään, jossa oli paikan päällä tutustumassa eri kouluja ja koulutus päättäjiä. Projekti onnistui sen verran hyvin, että tilaaja sai tästä hyvästä lisärahoituksen, jota käytetään hyödyksi Metropolian osaamiskiihdyttämön tuleviin tuotekehityshankkeisiin. palvelurobotiikkasuunnitteluun on näillä näkymin tulossa lisää kehitystä.

Projektiin osallistuneiden kesken voidaan olla tyytyväisiä työpanostukseen, sillä työsaatiin valmiiksi määräajassa. Kaikkia toimintoja ei saatu valmiiksi mitä oli alun perin suunniteltu. Näistä jäi vielä kesken mm. automaattisen navigoinnin toteutus.

Lähteet

- 1 CX2020 | Basic CPU module. 2016. Verkkodokumentti. Beckhoff Automation <https://www.beckhoff.com/english.asp?embedded_pc/cx2020.htm>. Luettu 20.1.2016.
- 2 EL7211-0010 | Servomotor terminal with OCT, 50 V DC, 4.5 ARMS. Verkkodokumentti. Beckhoff Automation <<http://www.beckhoff.com/EL7211-0010/>>. Luettu 25.1.2016.
- 3 EL9576 | Brake chopper terminal. Verkkodokumentti. Beckhoff Automation <<http://www.beckhoff.com/el9576//>>. Luettu 25.1.2016.
- 4 AM811x | Servomotor 0.20 – 0.52Nm (standstill torque). Verkkodokumentti. Beckhoff Automation <http://download.beckhoff.com/download/Document/Catalog/Main_Catalog/english/separate-pages/Drive_Technology/AM811x.pdf>. Luettu 25.1.2016.
- 5 AM8113 | Servomotor 0.52Nm (standstill torque). Verkkodokumentti. Beckhoff Automation <http://download.beckhoff.com/download/Document/Catalog/Main_Catalog/english/separate-pages/Drive_Technology/am8113.pdf>. Luettu 30.1.2016.
- 6 AG2250-+PLE40 | Planetary gear units for compact Drive Technology. Verkkodokumentti. Beckhoff Automation <http://download.beckhoff.com/download/Document/Catalog/Main_Catalog/english/separate-pages/Drive_Technology/ag2250_ple40.pdf>. Luettu 30.1.2016.
- 7 Yksinkertainen planeettavaihde. Verkkodokumentti. Wikipedia <https://fi.wikipedia.org/wiki/Yksinkertainen_planeettavaihde>. Luettu 25.1.2016.
- 8 Nikkelimetallihydridiakku. Verkkodokumentti. Wikipedia <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Nikkelimetallihydridiakku>>. 16.2.2015. Luettu 25.1.2016.
- 9 Mikä on akkujen muisti-ilmiö. Verkkodokumentointi. Akkula <<http://www.akkula.fi/ukk>>. Luettu 20.1.2016.
- 10 Paristo. Verkkodokumentointi. Wikipedia. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Paristo>. 20.09.2015. Luettu 20.2.2016.
- 11 Kameran tekniset tiedot. Verkkodokumentointi. Mökkikamera. <<http://www.mökkikamera.fi/>>. Luettu 23.2.2016.
- 12 Koskialho, Jaakko. 2013. Ethernet/IP-kenttäväylä teollisuusrobotin ja ohjelmoitavan logiikanvälisessä tiedonsiirrossa. Lokakuu 2013.
- 13 RT-N12 D1. Verkkodokumentointi. ASUS <https://www.asus.com/fi/Networking/RTN12_D1/>. Luettu 01.3.2016.

- 14 Verkkodokumennti. newegg.
<[http://images17.newegg.com/is/image/newegg/33-320-168-TS?\\$\\$S300\\$](http://images17.newegg.com/is/image/newegg/33-320-168-TS?$$S300$)>. Luettu 13.4.2016.
- 15 USB-N13. Verkkodokumentointi. ASUS
<<https://www.asus.com/fi/Networking/USBN13/>>. Luettu 01.3.2016.
- 16 USB-N13. Verkkodokumentti. ASUS
<https://www.asus.com/media/global/products/UI3ejenXyxqQTlcJ/P_500.jpg>. Luettu 13.4.2016.
- 17 EL72xx-0010 Connection diagram for 8100 Motors with OCT. Verkkodokumentti.
<<http://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/am8100/9007200761136779.html&id=>>>. Luettu 13.4.2016.
- 18 Verkkodokumentti. < https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcT-XkFKPexF5XDyGkxj9mvd-QBEkvS6DSRJQkuAqiwzRFwRDJgJyRH6ffp_>. Luettu 2.5.2016.
- 19 Salonen, Eero-Matti. 1987. Mekaniikan käsitteitä ja kaavoja. Helsingin teknillinen korkeakoulu.
- 20 100mm-omnidirectional-wheel-brass-bearing-rollers.jpg. Verkkodokumentti
<<http://www.robotshop.com/media/files/images/100mm-omnidirectional-wheel-brass-bearing-rollers.jpg>>. Luettu 13.4.2016.
- 21 Verkkodokumentti. <<https://www.beckhoff.com/>>. Luettu 2.5.2016.
- 22 TwinCAT 3 | eXtended Automation (XA). Verkkodokumentti. Beckhoff.
<http://download.beckhoff.com/download/document/catalog/Beckhoff_TwinCAT3_042012_e.pdf>. Luettu 18.12.2015.
- 23 Verkkodokumentti. <<https://www.beckhoff.com/images/twincat/popup/twincat-3-extended-automation-language-support-iec-screen-3.jpg>>. Luettu 13. 4.2016.
- 24 Autodesk Inventor. Verkkodokumentti. Wikipedia.
<https://en.wikipedia.org/wiki/Autodesk_Inventor>. 4.3.2016. Luettu 5.3.2016.
- 25 Microsoft Visual Studio. Verkkodokumentti. Wikipedia.
<https://fi.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Visual_Studio>. 31.3.2015. Luettu 15.1.2016.
- 26 Vartiainen, Teemu 2014. Vaatimusmäärittely. 4.11.2014.
- 27 Salminen, Esa. 2014. Palvelurobotin käyttöliittymä. 16.12.2014.
- 28 Verkkodokumentti.
<http://download.beckhoff.com/download/document/motion/am8000_am8500_ba_en.pdf>. Luettu 4.5.2016.
- 29 Verkkodokumentti.
<https://www.beckhoff.com/english.asp?drive_technology/am801x.htm>. Luettu 2.5.2016.

- 30 Verkkodokumentti. <<http://rasc.usc.edu/images/giraffe.png>>. Luettu 13.4.2016.
- 31 Verkkodokumentti. <http://www.care-o-bot.de/content/dam/careobot/en/images/Care-O-bot-4/Download/Press%20photos/Bild2_Cob4.jpg>. Luettu 13.4.2016.

DATE	7-11-2014	TITLE
DESIGN		
CHECKED		
BY		
APPROVED		
DATE		<div> <div> </div> <div> Valikeros V.I. </div> </div>
DESIGN NO		
REV		
SHEET 1 OF 1		

